УДК 519.87:004.65:331.46 https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-2-11

Прогнозирование несчастных случаев в горнодобывающей промышленности Зимбабве с целью разработки предупредительных мер их снижения

И. С. Купцова, Ю. И. Булыгин, Р. Р. Лазуренко, А. Р. Темирканов
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Несчастные случаи на производстве связаны с человеческими, социальными и экономическими проблемами, которые необходимо устранить, обеспечив тем самым безопасные условия труда. Статистические данные о производственном травматизме нужны для оценки степени опасности и возможных рисков, связанных с производственными факторами, для защиты работников. Такие данные инспекции труда играют важную роль в разработке национальной политики, систем, программ и стратегий по повышению техники безопасности и улучшению условий труда горняков в Зимбабве. Инспекция труда в Зимбабве является одним из основных инструментов контроля безопасности труда. Статистика этой инспекции позволяет правительству отслеживать ситуацию в горнодобывающей отрасли и анализировать соблюдение техники безопасности соответствующими предприятиями.
Постановка задачи. Рассматривается прогнозирование несчастных случаев в горнодобывающей промышленности республики Зимбабве с целью уменьшения случаев травматизма. Для экономического и социального развития в горнодобывающей отрасли необходим достоверный анализ статистических данных по травматизму. Приводится статистика травм при различных производственных процессах.
Теоретическая часть. При анализе данных используются алгоритмы интерполяции, транслируемые в математическое программное обеспечение. В качестве базовой информации использована статистическая отчетность Федеральной службой государственной статистики о производственном травматизме.
Выводы. Математическое моделирование производственного травматизма в горнодобывающей отрасли Зимбабве позволяет определить вероятные величины прогнозируемых показателей.

Ключевые слова: Зимбабве, анализ, прогноз, травматизм, горнодобывающая промышленность, экстраполяция, техника безопасности, вероятные величины.

Для цитирования: Прогнозирование несчастных случаев в горнодобывающей промышленности Зимбабве с целью разработки предупредительных мер их снижения / И. С. Купцова, Ю. И. Булыгин, Р. Р. Лазуренко, А. Р Темирканов // Безопасность техногенных и природных систем. — 2020. — № 4. — С. 2−11. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-2-11

Predicting accidents in the mining industry in Zimbabwe in order to develop preventive measures to reduce them

I. S. Kuptsova, Y. I. Bulygin, R. R. Lazurenko, A. R. Temirkanov
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. Industrial accidents are associated with various factors: human, social and economic problems, which we must strive to eliminate, thereby ensuring a safe working environment. Statistics on occupational injuries are necessary to assess the degree of hazard and potential risks associated with occupational factors to protect workers. Labor inspectorate statistics play an important role in developing national policies, systems, programs and strategies to improve safety and working conditions for miners in Zimbabwe. Labor Inspection in Zimbabwe is one of the main safety control mechanisms. Labor inspection statistics enable the government to monitor the mining industry and better analyze mining safety compliance issues.
Problem Statement. The article discusses the prediction of accidents in the mining industry of the Republic of Zimbabwe in order to reduce the incidence of injuries. Economic and social development in the mining industry requires reliable analysis of injury statistics. Statistics of injuries in various production processes are given.
Theoretical Part. In the process of data analysis, interpolation algorithms are used embedded in mathematical software. Statistical reports on occupational injuries provided by the Federal State Statistics Service were used as basic information.
Conclusion. Mathematical forecasting of industrial injuries in the mining industry in Zimbabwe allows us to determine the likely values of the predicted indicators.

Keywords: Zimbabwe, analysis, forecast, injuries, mining industry, extrapolation, safety measures, probable values.

For citation: Kuptsova I. S., Bulygin Y. I., Lazurenko R. R., Temirkanov A. R. Predicting accidents in the mining industry in Zimbabwe in order to develop preventive measures to reduce them: Safety of Technogenic and Natural Systems. 2020;4:2−11. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-2-11

Введение. Вклад горнодобывающей промышленности Зимбабве в ВВП Республики составляет около 9 % и продолжает увеличиваться. По прогнозам экспертов динамика могла бы быть ещё более оптимистичной, если бы не острый дефицит квалифицированных инженеров, который, как и во многих других африканских странах, сдерживает экономическое развитие. В Зимбабве ведётся добыча свыше 40 видов полезных ископаемых, таких как платина, золото, никель, медь, алмазы, каменный уголь. Правительство Зимбабве рассчитывает на помощь России и ЮНЕСКО в деле реформирования горной промышленности за счёт повышения компетентности инженеров и внедрения современных технологий, повышения уровня техники безопасности и улучшения условий труда [1].

Кустарная и мелкомасштабная добыча полезных ископаемых — один из способов выживания рабочих в условиях экономического кризиса в Зимбабве. В стране с ограниченными возможностями и очень высоким уровнем безработицы более 90 % артелей помогают молодежи прокормить свои семьи. Поэтому необходимо поддержать старателей на государственном уровне, чтобы исключить смертельно опасные условия добычи полезных ископаемых.

В 2018 г. старатели добыли 21,7 т. полезных ископаемых, в то время как горнодобывающие компании — 11,5 т., несмотря на то, что старатели используют простые инструменты, такие как кирки, лопаты, веревки и ведра [2]. Однако, несмотря на такой высокий уровень добычи, законодательство не регулирует нормативно-правовые отношения со старателями, работающими в очень тяжёлых и опасных условиях с нарушениями норм охраны труда и техники безопасности, которые должны строго соблюдаться в горнодобывающей промышленности [3]. Чтобы улучшить условия труда, артели старателей хотят вынести на обсуждение поправки в закон о полезных ископаемых. Они утверждают, что правовое регулирование на национальном уровне может улучшить ситуацию в сфере охраны труда и безопасности, а также будет способствовать развитию горнодобывающей деятельности.

Постановка задачи. Изучение причин травматизма и профессиональных заболеваний позволит уменьшить опасные и вредные условия труда на производстве. На несчастный случай, несмотря на то, что он является стохастическим событием, обычно влияют опасные и вредные факторы производства, а также различные отклонения от его регламента. Несчастные случаи на производстве следует рассматривать как сигналы о профессиональных рисках, чаще всего связанных с неудовлетворительным состоянием профилактической работы по предупреждению травматизма на производственном участке, в цехе, корпусе и в целом на предприятии.

Создание математической модели, с помощью которой можно прогнозировать несчастные случаи, позволит правительству и горнодобывающей промышленности Зимбабве оценить профессиональный риски и разработать мероприятия по сохранению здоровья работающих и сокращению всех видов издержек, связанных с неблагоприятными условиями труда. Главная цель исследования заключается в том, чтобы на основании известных статистических данных создать математическую модель, которая позволит оценить наиболее повторяющиеся несчастные случаи и далее принять меры по их сокращению.

Теоретическая часть. Для математического моделирования прогноза несчастных случаев будем использовать статистические данные смертельного травматизма в Зимбабве за 1990–2014 гг. (рис. 1) [4]. Наиболее частые причины травматизма при добыче полезных ископаемых представлены в (табл. 1) [5, 6]. В табл. 2 приведены операции и средства, приводящие к травматизму, а также соответствующие причины.

Таблица 1

Причины и виды травматизма в горнодобывающей промышленности Зимбабве

Виды	Причины
Электротравмы	Нарушение целостности и функций тканей и органов в результате действия электрического тока, превышение допустимого уровня электронапряжения в сети
Застревание в шахтах	Попадание горняка в ловушку в результате обвала, нарушение размеров проходов для людей
Взрывы сосудов под давлением	Перебои в подаче сжатого воздуха, превышение температуры и объема подаваемых жидкостей, газов, нарушение целостности трубопровода

Виды	Причины
Взрывы материалов и вещества	Обрушение горных пород, близкая расположенность к месту взрыва
Падение, качение, или скольжения горных пород в шахте	Работы без предохранительных поясов, оползневые, просадочные явления, нарушение допустимого уклона, отсутствие обходных выработок, мостиков
Падение фасада, ребра или борта горных пород в шахте	Работы без предохранительных поясов, несвоевременное закрепление горных выработок, оползневые, просадочные явления, нарушение допустимого уклона, отсутствие обходных выработок, мостиков
Падение крыши, задней, или передней частей горных пород	Нарушение расположения и эксплуатации гидравлического оборудования, механизмов, взрывы сосудов под давлением, нарушение сечения выработок, несвоевременное закрепление горных выработок
Пожары и огневые травмы	Нарушение работы вентиляционного оборудования, несвоевременное проветривание шахт, превышение предельно допустимой концентрации взрывоопасной пыли, газа, электрозамыкание

Таблица 2

Операции, средства и причины травматизма

Операции и средства	Причины
Обработка горной породы	Работы с нарушением инструкций по эксплуатации оборудования, самостоятельное изменение технологического оборудования без согласования с заводом изготовителем
Ручной инструмент	Использование инструмента при отсутствии индивидуального аккумуляторного светильника, отсутствие средств индивидуальной защиты
Неприводные перевозки	Отсутствие необходимых ограждений на пути движения, отсутствие креплений груза при перемещении, перегруз тачек
Тяговые перевозки	Отсутствие необходимого ограждения, отсутствие или неисправность сигнала о начале движения тягового оборудования, а также об отключении электропитания оборудования, нарушение скорости передвижения подвижного состава, нарушение габаритных размеров подвижного состава
Подъемные механизмы	Превышение грузового лимита, отсутствие или неправильное крепление груза, неисправность механизма, в зоне работы подъемных механизмов запрещается нахождение людей, неисправность лебедки, ковша и других механизмов

Методологическую основу работы составляет анализ статистики несчастных случаев в горнодобывающей отрасли Зимбабве и применение математического моделирования для создания адекватной модели прогнозирования такой статистики. В результате ожидается возможность прогнозирования травматизма, которое позволит добывающим компаниям осуществлять меры по предотвращению или ликвидации несчастных случаев, которые могут происходить в будущем [7].

Данные по травматизму представляют собой сложную, многофакторную статистическую аберрацию. При анализе случайных функций необходимо определять, степень погрешности прогноза случайной величины и какая часть выборки вносит максимальную погрешность.

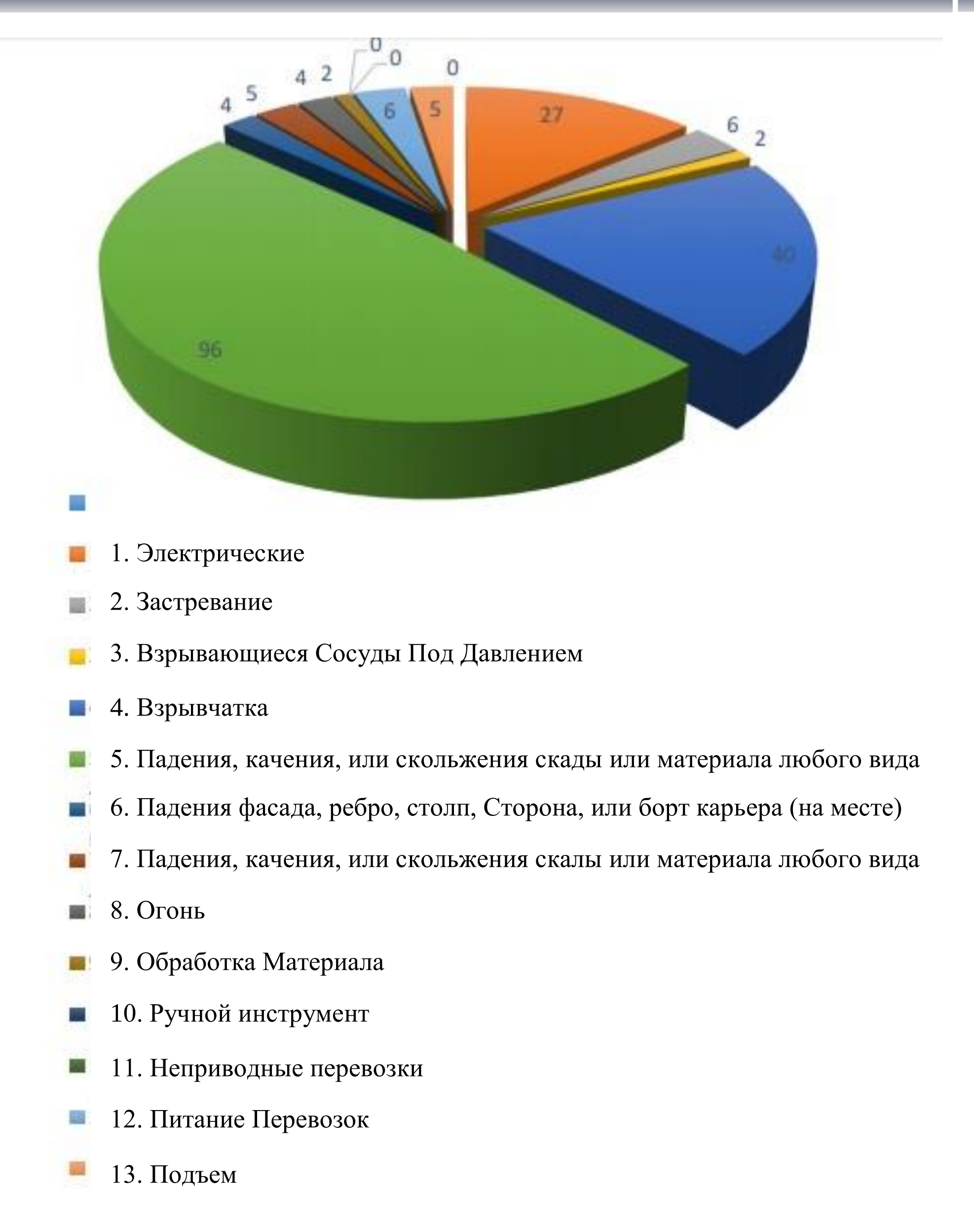


Рис. 1. Статистические данные по смертельным видам травматизма при добыче полезных ископаемых в Зимбабве за 1990–2014 гг.

Для анализа статистических данных производственного травматизма используются следующие методы:

— экстраполяция — основной метод прогноза, который основывается на прогнозировании событий по показателям прошлых лет [8];

— регрессионный — дополнительный метод для определения погрешности вычислений на основе предсказания в те года, которые уже имеются в статистике;

— фрактальный анализ применяется в системной диагностике для решения задач, связанных с использованием временных рядов. [9];

— статистические показатели выборки случайных чисел: средние арифметическое, геометрическое, гармоническое, а также дисперсия и коэффициент R^2 [7].

В данном исследовании будем использовать экстраполяцию (рис. 2). Экстраполяцией в MathCAD называется предсказание значений параметров посредством функций за областью определения. В частности, будем использовать функцию predict (v, m, n), где v — вектор реальных значений, принятых через равные промежутки значений аргумента; m — количество элементов вектора данных v, согласно которым строится экстраполяция; n — количество значений статистических данных, которые необходимо спрогнозировать. В эту функцию встроен линейный алгоритм экстраполяции, основанный на анализе разброса значений параметров [10].

Экстраполяция в MathCAD позволяет выполнять расчеты в режиме, где можно непосредственно обнаружить, локализовать и устранить ошибки прогноза. Первый этап заключается в проверке оптимального количества значений параметров для прогноза с заданием конкретного значения погрешности. На следующем этапе происходит экстраполяция вектора действительных значений по выбранному периоду времени, при этом значение аргумента принято через равные промежутки времени. Для проверки адекватности используется коэффициент R^2 — отношение дисперсий исходных значений вектора данных и отладочных значений, вычисленных для соответствующего временного интервала.

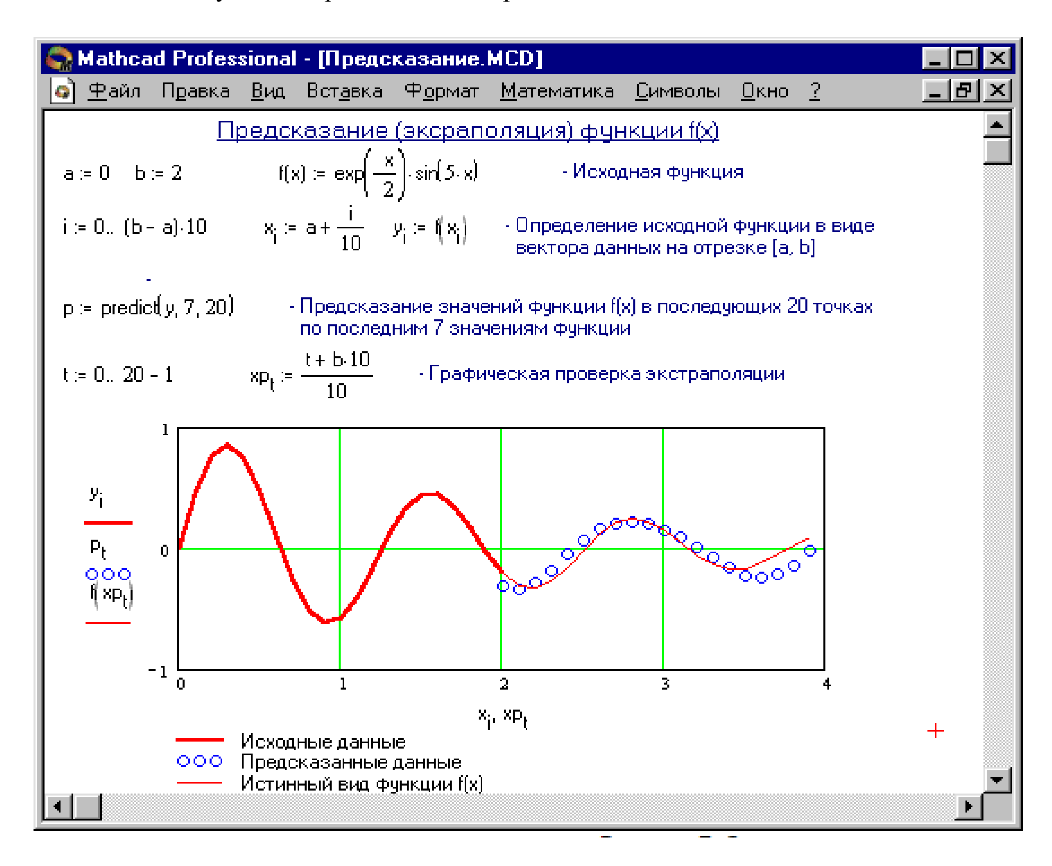


Рис. 2. Пример предсказания значений функции f (x)

Основные результаты прогнозных расчётов. Проведены расчеты и построены прогнозы по видам, операциям и средствам травматизма. Результаты некоторых расчетов представлены на рис. 3–12.

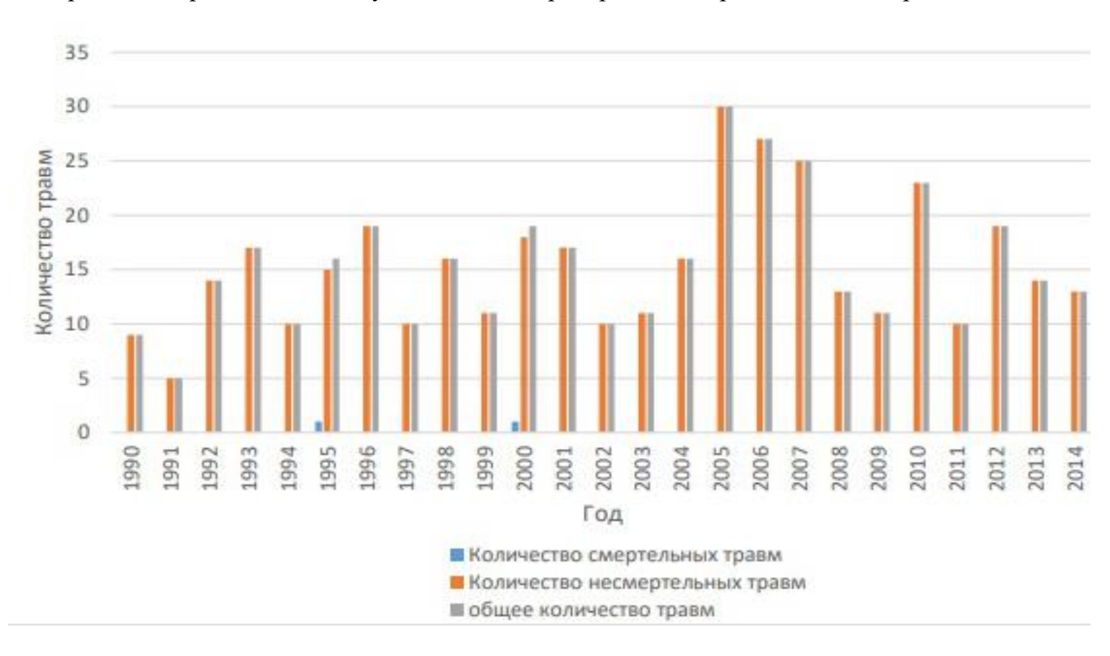


Рис. 3. Статистические данные травматизма по взрывам сосудов под давлением

$$SR_VYA := \sum_{m=0}^{4} \frac{VYA_m}{5}$$

$$SR_VYA = 15.8$$

$$SR_VP := \sum_{m=0}^{4} \frac{vp_m}{5}$$

$$SR_VP = 16.817$$

$$DISP_VYA := \sum_{m=0}^{4} \frac{(SR_VYA - VYA_m)^2}{5}$$

$$DISP_VYA = 21.36$$

$$DISP_VP := \sum_{m=0}^{4} \frac{(SR_VP - VYA_m)^2}{5}$$

$$DISP_VP = 22.395$$

$$R2 := \frac{DISP_VYA}{DISP_VP}$$

$$R2 = 0.95377999214$$

Рис. 4. Отладка прогноза с помощью коэффициента R^2: SR_VYA — среднее арифметическое отладочных значений, взятых из вектора данных за 2010–2014 гг.; SR_VP — среднее арифметическое спрогнозированных значений за 4 г.; DISP_VYA, DISP_VP — дисперсии двух анализируемых выборок; R2 — регрессионный коэффициент R^2, который равен 5–10 %

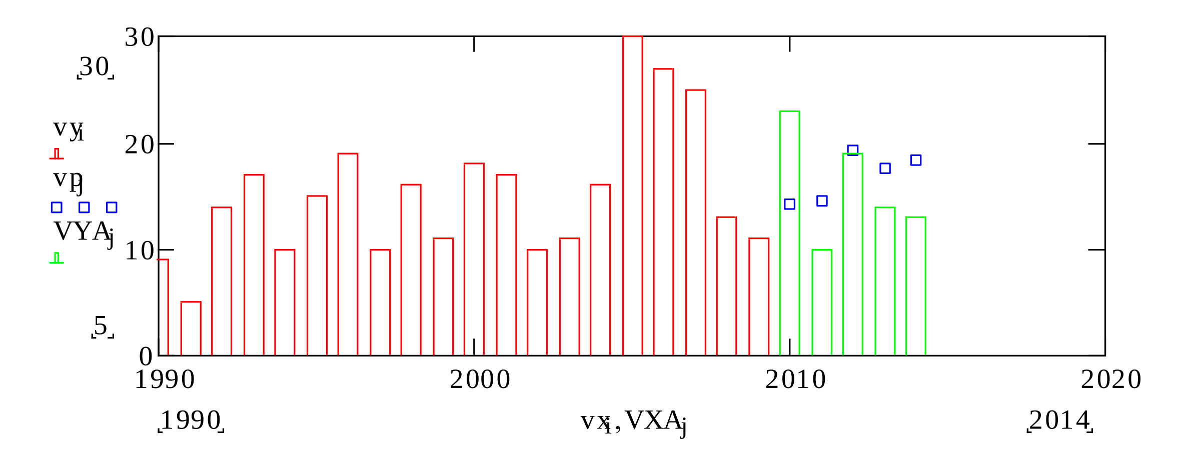


Рис. 5. Отладка прогноза с помощью коэффициента R^2 и функции predict (*v*, *m*, *n*) по взрывам сосудов под давлением

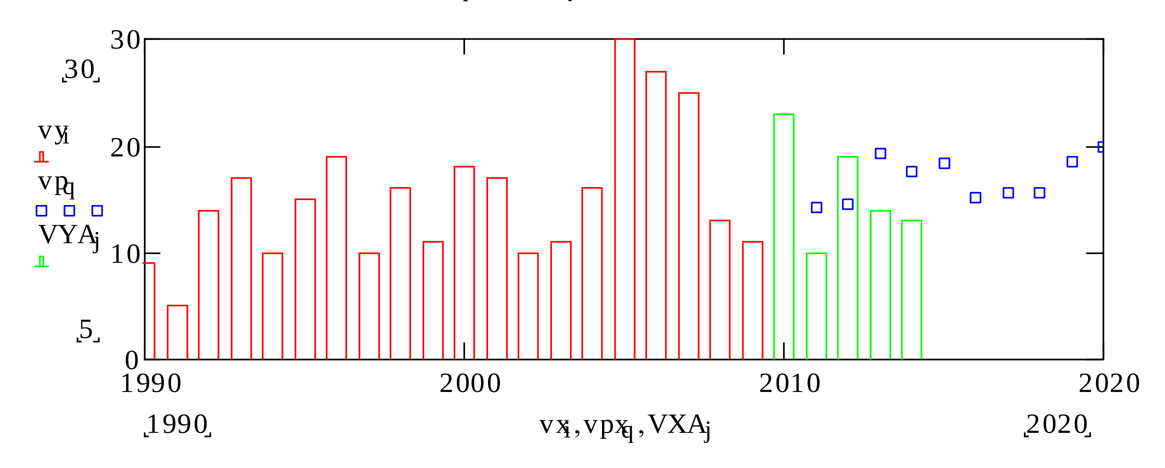


Рис. 6. Результат формирования отлаженного прогноза до 2020 г. с помощью функции predict по взрывам сосудов под давлением

Для расчета прогноза производственного травматизма использовались статистические данные по взрывам сосудов под давлением, которые представила инспекция труда Зимбабве за 2010–2014 гг. Проведенные расчеты показывают, что количество значений статистических данных, которые необходимо спрогнозировать (параметр *n*), равно 12 [11].

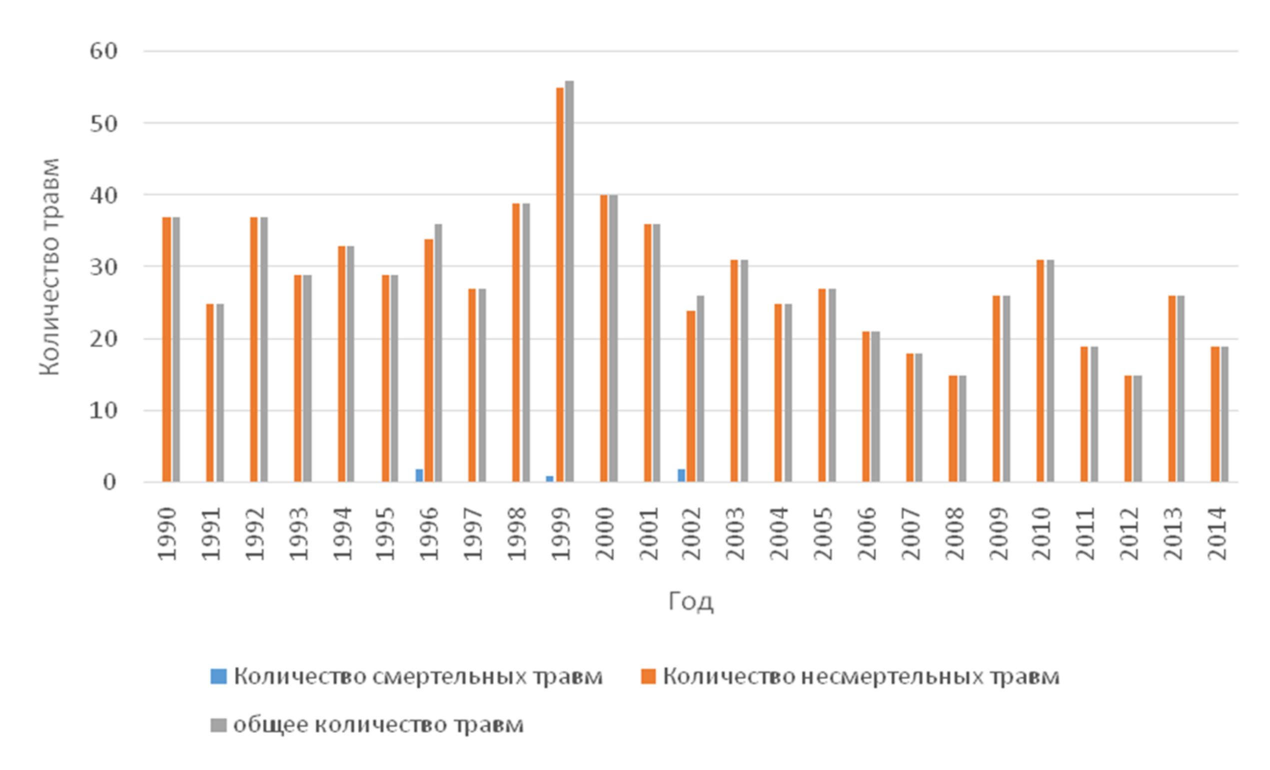


Рис. 7. Статистические данные травматизма при обрушениях,
падениях, качении или скольжении скалы и материала любого вида

В 2016–2017 гг. отмечался рост числа погибших. 31.01.2018 из-за шторма прекратилась подача электроэнергии в одну из горнодобывающих шахт, все 955 шахтеров оказались под землей, извлечь людей из шахты смогли только 2 февраля. Производственно-техническая база шахты не была готова к подобному инциденту. В горнодобывающей промышленности Зимбабве происходит множество несчастных случаев. Подобные аварии являются предупреждением для соответствующих компаний, которые должны пересмотреть и улучшить меры по обеспечению безопасности.

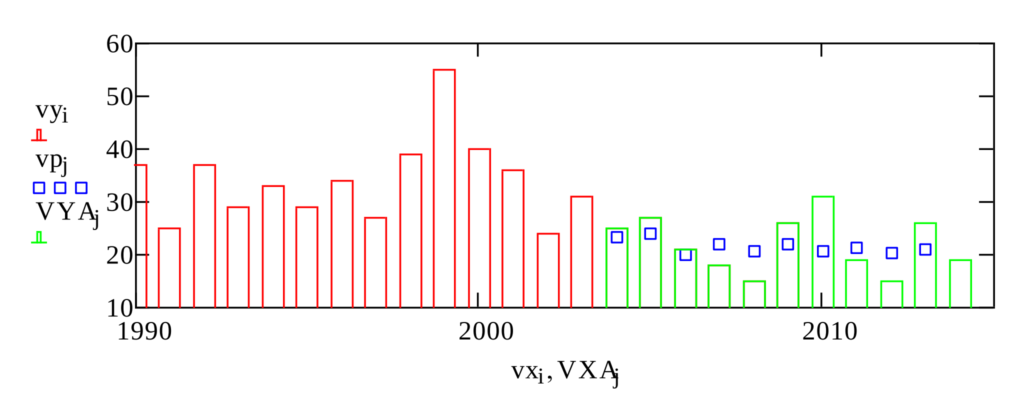


Рис. 8. Отладка прогноза с помощью коэффициента R2 и функции predict (v, m, n) по травматизму при обрушениях,
падениях, качении, или скольжении скалы и материала любого вида

В феврале 2019 г. на затопленных в результате проливных дождей платиновых рудниках Cricket и Silver Moon в небольшом поселении Баттлфилдс в 175 км. от Хараре погибли 28 старателей. Восьмерых человек удалось спасти, но продолжающиеся ливни затрудняли спасательные работы, что привело к большому количеству жертв [2].

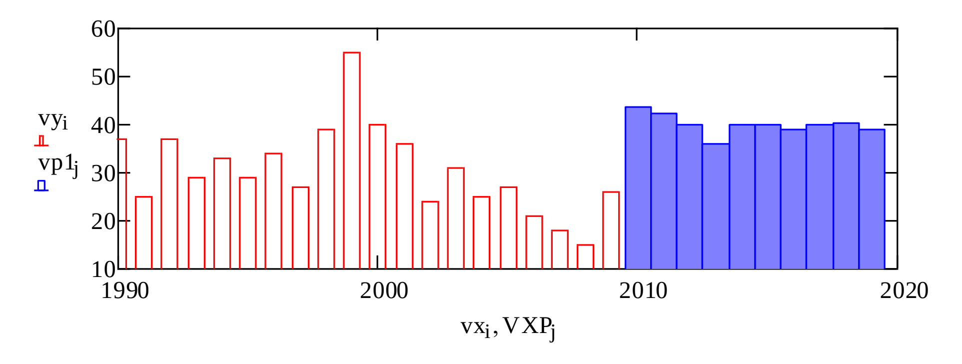


Рис. 9. Прогноз при обрушениях, падениях, качении, или скольжении скалы и материала любого вида

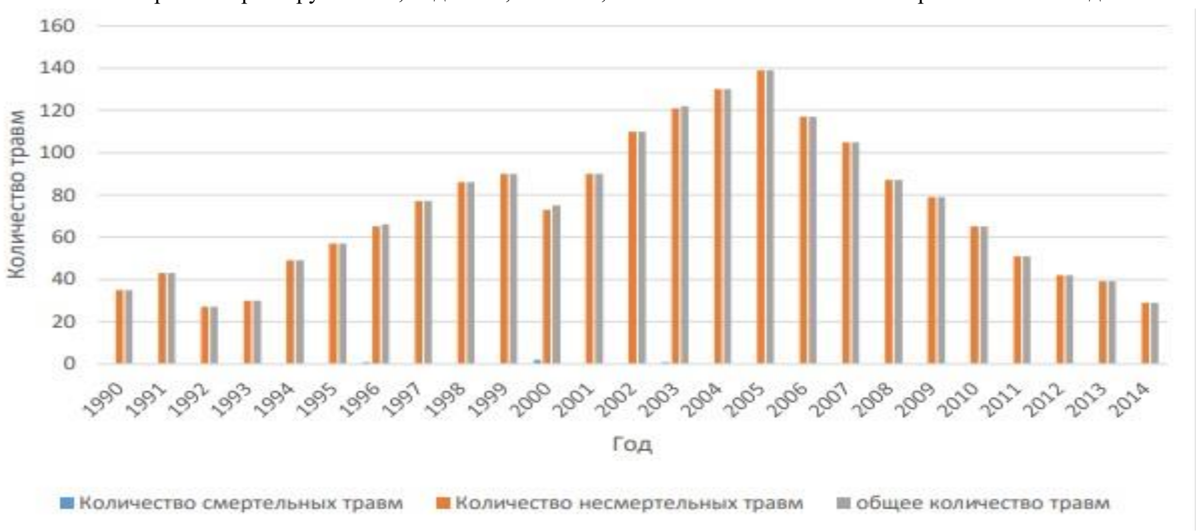


Рис. 10. Статистические данные травматизма при падении фасада, ребра или борта горных пород в шахте

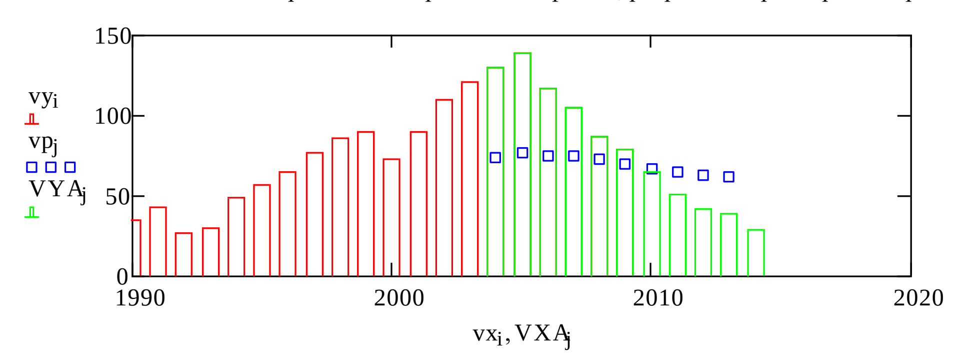


Рис. 11. Отладка прогноза с помощью коэффициента R^2 и функции predict (*v, m, n*)
при падении фасада, ребра или борта горных пород в шахте

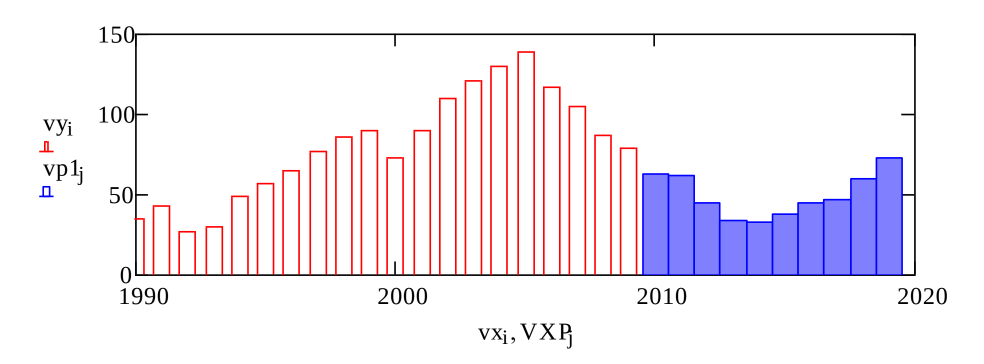


Рис. 12. Прогноз при падении фасада, ребра или борта горных пород в шахте

Выводы. Для выборки, принятой в качестве примера проверки адекватности, использовался параметр R^2, значение которого составило 95,4 %. В связи с этим можно сделать вывод, что погрешность прогноза не превышает 10 %.

Таким образом, математическое прогнозирование производственного травматизма в горнодобывающей отрасли Зимбабве позволяет определить возможное количество несчастных случаев. Это дает возможность использовать такие данные для разработки профилактических мероприятий, а также рационально планировать выделение средств и оборудования для совершенствования условий труда в отрасли.

Библиографический список

1. Ратников, М. Зимбабве будет учить инженеров в России / М. Ратников // Форпост Северо-Запад : [сайт] — URL : https://forpost-sz.ru/a/2019-03-27/zimbabve-budet-uchit-inzhenerov-v-rossii (дата обращения : 05.12.2019).
2. Flood at the gold mines Zimbabwe /IndustriALL Global Union. Access: http://www.industriall-union.org/ru/potop-na-zolotyh-shahtah-v-zimbabve-unes-zhizni-28-starateley-neobhodimo-uzakonit-normy-bezopasnosti (date access: 25.11.2019).
3. Zimbabwe Chamber of Mines. Annual Report, (1990–2014), Harare. 15 p.
4. National Social Security Authority of Zimbabwe yearly report on safety. Government of Zimbabwe printers. Harare. (Publications 1990–2014). 4 p.
5. Hermanus M.A. Occupational health and safety in mining status, new developments, and concerns, The Journal of The Southern African Institute of Mining. 2007. P. 34–38.
6. Lenné, M. G., Salmon P. M., Liu C. C. and Margaret M. A systems approach to accident causation in mining: An application of the HFACS method. Accident Analysis and Prevention journal. — 2011. — P. 85–89.
7. Qureshi Z.H. A Review of Accident Modeling Approaches for Complex Critical Sociotechnical Systems. Defence Science and Technology Organization DSTO-TR-2094. — 2008. — P. 183–213.
8. Occupational safety and health country profile: Zimbabwe / International Labour Organization. Access: https://www.ilo.org/safework/countries/africa/zimbabwe/lang--en/index.htm (date access: 25.12.2019).
9. Муллер, Н. В. Прогнозирование риска производственного травматизма методом вейтвлет и фрактального анализа / Н. В. Муллер // Вестник Самарского государственного университета. — 2009. — № 2. — С. 146–154.
10. Ханова, А. А. Интерполяция функций / А. А. Ханова // exponenta.ru : [сайт] — URL : http://www.exponenta.ru/educat/systemat/hanova/interp/math.asp (дата обращения : 25.12.2019).
11. Обоснование метода математического прогнозирования несчастных случаев в горнодобывающей промышленности республики Зимбабве / Ю. И. Булыгин, Т. Нгирази, Р. Р. Лазуренко, Е. В. Щекина // Аспирант. — 2016. — № 6 (22). — С. 159–164.

Сдана в редакцию 23.08.2020
Запланирована в номер 06.09.2020

Об авторах:

Купцова Ирина Сергеевна, аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2236-0384, i-kyptsova@mail.ru

Булыгин Юрий Игоревич, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0644-7412, bulyur_rostov@mail.ru

Лазуренко Роберт Робертович, старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2074-1255, kot5391@mail.ru

Темирканов Алан Русланович, старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3275-2031, kot5391@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

И. С. Купцова — формирование основной концепции, целей и задач исследования, подготовка текста; Ю. И. Булыгин — научное руководство, анализ результатов исследований, корректировка выводов; Р. Р. Лазуренко — проведение расчетов, подготовка текста; А. Р. Темирканов — формирование выводов, доработка текста.

Submitted 23.08.2020
Scheduled in the issue 06.09.2020

Authors:

Kuptsova, Irina S., Postgraduate student, Department of Life Safety and Environmental Protection, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2236-0384, i-kyptsova@mail.ru

Bulygin, Yuriy I., Professor, Department of Life Safety and Environmental Protection, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Dr. Sci., Professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0644-7412, bulyur_rostov@mail.ru

Lazurenko, Robert R., Senior Lecturer, Department of Life Safety and Environmental Protection, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2074-1255, kot5391@mail.ru

Temirkanov, Alan R., Senior Lecturer, Department of Life Safety and Environmental Protection, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sci., ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3275-2031, kot5391@mail.ru

Contribution of the authors:

I. S. Kuptsova — formulation of the main concept, goals and objectives of the research, preparation of the text; Yu. I. Bulygin — scientific supervision, analysis of research results, correction of conclusions; R. R. Lazurenko — calculations, preparation of the text; A. R. Temirkanov — formulation of conclusions, revision of the text.